

L'alleugeriment dels sostres de formigó armat

Millorar l'**ecoeficiència** en el disseny dels edificis

Jordi Marrot / Imatges i gràfics proporcionats per l'autor



El Panteó d'Agrippa o el temple dedicat a les set divinitats planetàries a la Roma antiga

La problemàtica ocasionada pel fort impacte ambiental que genera la construcció ha fet que s'hagin incorporat criteris ambientals i d'ecoeficiència en el disseny dels edificis. Aquests criteris plantegen aconseguir els objectius amb el mínim de recursos i el menor impacte possible, essent plantejaments que han estat sempre presents en l'evolució de la humanitat. Un exemple de manca d'eficiència són els sostres estruc-

turals de formigó armat. Són tan pesats que paradigmàticament suporten essencialment el seu propi pes.

El formigó armat és el producte per excel·lència amb què es construeixen les estructures del nostre país, que utilitza materials com el ciment o l'acer, que consumeixen enormes quantitats de calor i energia. Només el ciment emet el 7% del CO₂ mundial. Aquestes estructu-

res són el subsistema dels edificis, amb el pes propi més elevat i els sostres hi tenen un paper rellevant. Per fer-los més lleugers es poden utilitzar diferents solucions. El més habitual és utilitzar peces d'alleugeriment per a eliminar formigó, però és necessari alleugerir els sostres?, quins avantatges ens aporta? En aquest article farem un breu recorregut sobre aquest aspecte, fent algunes reflexions al respecte.

■ Què entenem per alleugeriment de les estructures?

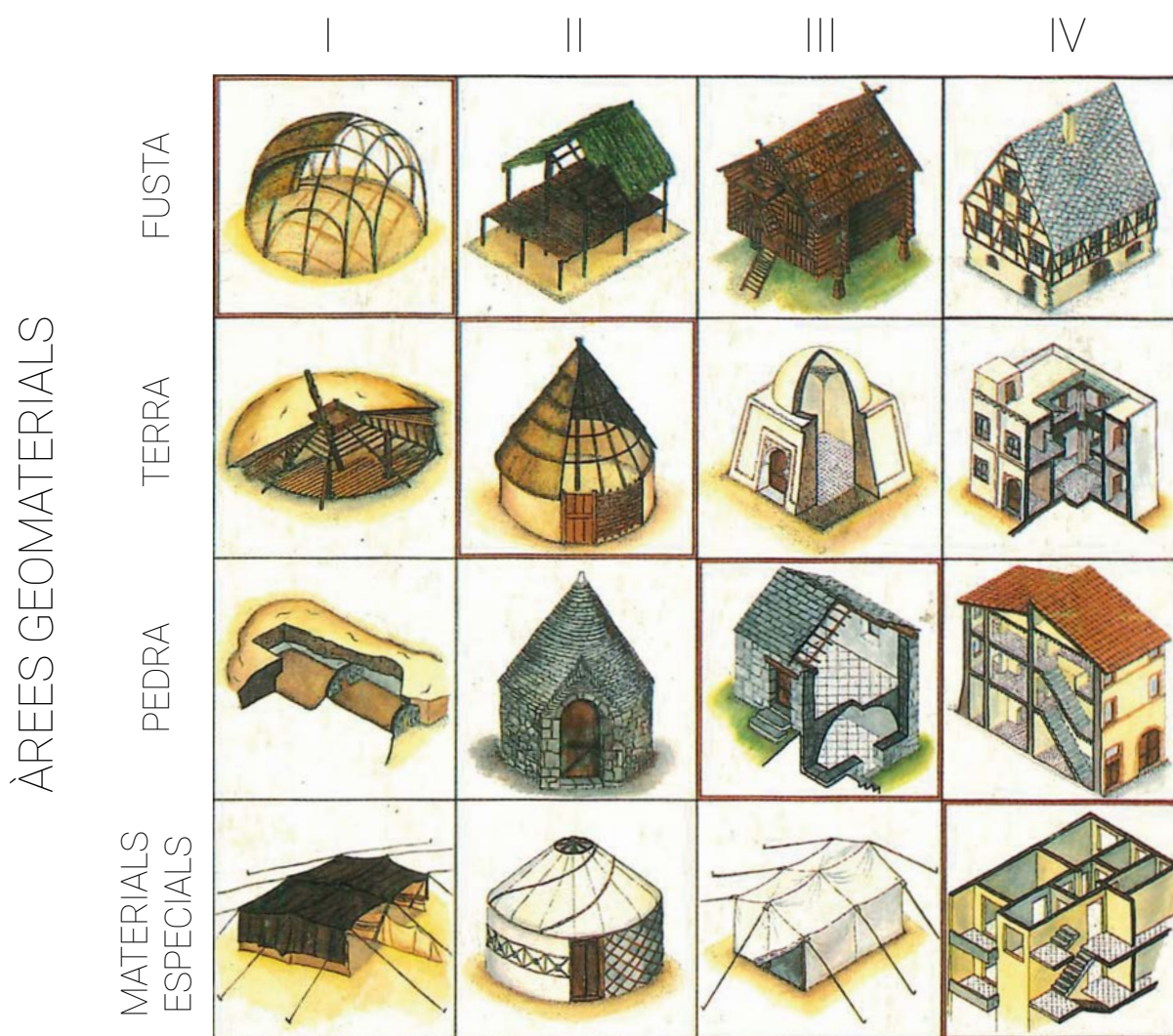
Parlem d'alleugeriment quan fem alguna cosa més lleugera o menys pesada, traient-li pes o càrrega i, en el cas concret de les estructures, es basa en reduir el seu pes propi. Segons un estudi realitzat a Catalunya¹, l'any 2003, sobre una mostra de 1.100 projectes d'habitatges (unifamiliars i plurifamiliars), es va arribar a la conclusió que els subsistemes més pesants eren l'estructura (33%), seguits per la fonamentació (30%) i els tancaments (17%). Aquest mateix estudi també es va realitzar en la illa de Lanzarote² amb resultats molt similars.

■ Des de quan s'han alleugerit les estructures?

Al llarg de la història, l'home ha buscat sempre que els edificis fossin lleugers. Quan els primers homínids van deixar les coves i es van convertir en nòmades, utilitzaven refugis lignis coberts amb pells, que desmuntaven i traslladaven d'un lloc a un altre. Amb el temps, els sistemes i models constructius han evolucionat, però majoritàriament podem dir que en les parts més septentrionals del planeta, l'home ha utilitzat la fusta com a material constructiu pels seus edificis, men-

Un exemple de manca d'eficiència són els sostres estructurals de formigó armat, que són tan pesats que suporten essencialment el seu propi pes.

Cicles històrics



Imatge 1.- Quadre³ general evolutiu de l'habitat humà elaborat per Giancarlo Cataldi de la Facultat d'Arquitectura de la Universitat de Florència. Publicat pel CAATEEB "Els Orígens de l'Habitatge" 1991

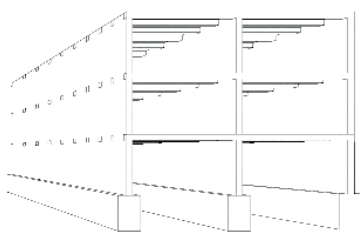
tre que en la resta han fet servir una construcció més massiva, emprant materials com la pedra, la ceràmica i la tàpia.

Tant en una com en una altra tradició constructiva ha estat necessari alleugerir els elements constructius i l'estructura que els forma. Això ha vingut donat per les necessitats de bastir edificis on era necessari cobrir llums cada cop més importants i aixecar edificis més i més alts. Aquest fet ha comportat que s'utilitzessin solucions constructives enginyoses i materials constructius lleugers que els permetessin d'aixecar edificis més i més imponents. Clars exemples d'aquest en són les catedrals gòtiques o les voltes alleugerides, de les quals trobem el brillant exemple que representa el Panteó de Roma. El general Marcus Vipsanius Agrippa, el va fer construir el 27 aC. Està cobert amb una volta de 43,30 m. de diàmetre interior, alleugerida amb fornícules interiors i formada amb una argamassa de pedra tosca i escòria volcànica.

■ Quines tipologies estructurals es construeixen actualment?

El model estructural dels edificis del nostre entorn immediat s'han realitzat tradicionalment amb estructures murals de pedra, ceràmica o tàpia, però diversos descobriments científics i tecnològics que es realitzaren al segle XIX, provocaren una renovació i modificació tecnològica en la construcció de les estructures dels edificis. Aquests avenços, van arribar principalment, amb l'obtenció de dos materials de nova creació: l'acer i el formigó armat. Amb aquests dos materials també es van desenvolupar noves propostes científiques per analitzar el comportament mecànic, que van acabar per modificar el sistema constructiu mural i establint un nou model estructural: l'estructura porticada.

Aquest nou sistema constructiu va produir un canvi profund en la manera de dissenyar i executar els edificis ja que, a més a més d'utilitzar nous materials amb prestacions i comportaments diferents als tradicionals, ha suposat una pèrdua de la homogeneïtat que aportava l'estructura, tenint en compte que ella sola configurava pràcticament tot l'edifici. L'estructura porticada genera edificis heterogenis on

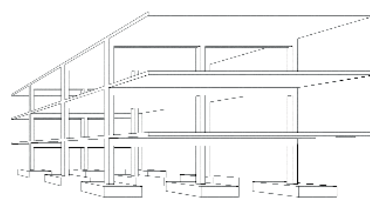


Imatge 3.- Estructura mural

cada element constructiu compleix una funció específica; l'estructura suporta l'edifici, el tancament la protegeix, la coberta l'impermeabilitza, etc.

Això fa que, entre altres coses, els sostres també tinguin altres missions. Per una banda, l'objectiu principal dels sostres tradicionals en estructures murals era transmetre les carregues que rebien a les estructures verticals pels seus extrems, mentre que els sostres de les estructures porticades de formigó armat, tenen altres missions, com la de travar l'estructura vertical, molt més esvelta, aportant estabilitat al conjunt, rigidesa, monolitisme i altres exigències no estructurals com és el d'aïllament acústic, etc. Tot això ha suposat un increment de seccions i conseqüentment de la seva massa, amb un cantell més gran, un major espessor de la capa de compressió i dels nervis transversals i de tot el seu conjunt en general, essent actualment molt habitual l'ús de lloses de formigó armat.

En un món on els recursos són limitats i les necessitats aclaparadores, el malbaratament és un delictes.



Imatge 4.- Estructura porticada

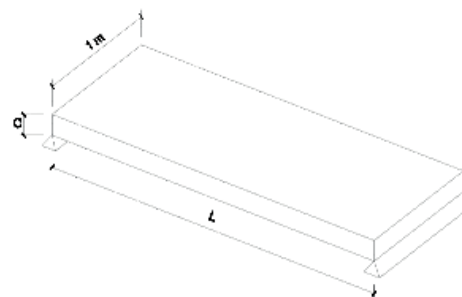
■ Per què s'alleugereixen els sostres de formigó armat?

En general, les estructures s'alleugeren bàsicament per tres motius: tècnics, econòmics i mediambientals.

1 Motius tècnics

Els sostres alleugerits permeten cobrir la mateixa superfície amb una menor massa i aquest fet, aporta més llibertat de disseny a l'hora d'ubicar els pilars, un menor grau d'esforços en els elements estructurals més sol·licitats i una menor deformació dels sostres.

Per visualitzar els criteris tècnics



Imatge 5.- Llosa de formigó d'un metre d'ample, cantell C i longitud L porticada

- Moment flector màxim (M_f):
 $M_f = q \cdot l^2 / 8 = 2,5 d \cdot l^2 / 8 = 1 / 3,2 \cdot d \cdot l^2$
 M_f = moment flector màxim
 q = càrrega total
 l = longitud de càlcul
 d = cantell total de la llosa
- Moment resistent per la llosa (M_s):
 $M_s = 0,35 \cdot a \cdot c^2 \cdot \sigma = 0,35 \cdot 1 \cdot (0,9 d)^2 \cdot \sigma$
 M_s = moment resistent per la llosa
 a = ample de la llosa
 c = cantell útil
 σ = tensió admissible (expressada en Tn/m²)
- La llosa resistirà mentre no superi el moment flector màxim ($M_f \geq M_s$)
 $0,35 \cdot 1 \cdot (0,9 d)^2 \cdot \sigma \geq 1 / 3,2 \cdot d \cdot l^2$
 $0,28 \cdot d^2 \cdot \sigma \geq 1 / 3,2 \cdot d \cdot l^2$
- Si l'esveltesa és $\lambda = l / d$
 $l \leq 0,9^\circ \sigma / \lambda$
- La tensió de servei admissible d'un formigó H-200 ≈ 800 Tn/m²
 $l \leq 720 / \lambda$
- Per una esveltesa $\lambda \approx 20$, $l \leq 36$ m.

L'esveltesa es la relació entre la longitud L i el cantell C .

que justifiquen la necessitat d'alleugerir una estructura, analitzem⁴ una placa massissa de formigó armat d'un metre d'ample, amb un cantell C i una longitud L , que se suporta a ella mateixa sense cap tipus de sobrecàrrega.

D'aquest exemple podem observar com una llosa armada, que se sosté per ella mateixa, té un màxim de llum L de 36m, que tot i ser una llum important i superior a les llums més freqüents en edificació, posa de manifest que la sol·licitud deguda al pes propi de la llosa massissa creix amb el cub de la llum per una esveltesa donada, mentre que la resistència només ho fa amb el quadrat de la llum. És per això, que l'alleugeriment ajuda a restablir l'equilibri entre els dos creixements, i per tant, és tècnicament necessari alleugerir el pes propi d'una llosa.

- Moment flector màxim;
 $M_f = (1 / 3,2) \cdot (l^3 / \lambda)$
- Moment resistent per la llosa;

$$M_s = 0,28 \cdot \sigma \cdot (l^2 / \lambda)$$

Però, aquesta no és l'única millora tecnològica de l'alleugeriment de les estructures ja que també s'aconsegueixen una sèrie d'avantatges en diversos aspectes:

- L'alleugeriment del pes propi del sostre comporta una reducció de la seva deformació per fletxa, però també, uns sostres més flexibles. Amb això i amb l'elecció correcta de productes i solucions constructives s'aconsegueix reduir el risc de lesions en els elements constructius recolzats o adherits al damunt com són els envans o els paviments.
- La reducció del pes propi comporta una reducció de càrregues de l'edifici, el que suposa una reducció de l'armat en jàsseres, pilars i fonaments, que tot i no ser molt important econòmicament, sí que comporta una optimització de seccions i de disminució de les sol·licituds mecàniques.
- Un menor pes propi suposa un

millor comportament antisísmic, ja que la reducció de la massa disminueix la deformació horitzontal d'una estructura.

Un dels criteris tècnics més utilitzats per a no alleugerir el sostres és el seu menor aïllament acústic. Aquest argument és cert en part, ja que una major massa aporta major aïllament, però comporta "matar mosques a canonades", ja que l'aïllament acústic es pot aconseguir amb altres solucions tecnològiques que no suposen incrementar el pes propi del sostre.

2. Motius econòmics

L'alleugeriment de les estructures permet reduir el consum dels materials necessaris per a la seva construcció, mantenint les mateixes condicions funcionals, estètiques i de seguretat. Aquesta reducció del pes propi suposa una disminució de les accions que sol·liciten l'estructura i això, suposa una reducció del consum bàsicament d'acer per armar els sostres, jàsseres i pilars, en el cas d'estructures de formigó armat, i la reducció de la dimensió dels perfils, en el cas d'estructures metàl·liques. Aquest factor és important com més gran és la superfície i les llums que s'han de cobrir, essent poc rellevant en estructures petites.

La disminució, bàsicament d'acer, suposa un estalvi econòmic, essent aquesta estratègia la més important i la més utilitzada per les empreses fabricants de peces

El sector de l'edificació està immers en uns canvis profunds del seu model productiu. Caldrà veure com es va materialitzant.

d'alleugeriment, en les seves tasques comercials.

3. Motius mediambientals

La reducció del pes del edifici és un dels principals objectius que persegueix la construcció més sostenible, ja que amb això s'aconsegueix ser més eficient i reduir la seva petjada mediambiental.

Aquesta visió sembla avui innovadora però a mitjans del segle passat ja va ser plantejada per Buckminster Fuller (1895-1983). Per a ell, la bellesa de les coses es mesurava amb la proporció entre l'esforç i els mitjans invertits en fer alguna cosa i la seva eficàcia pràctica. Fuller considerava que en un món on els recursos són limitats i les necessitats aclaparadores, el malbaratament és un delictes. Deia que el vaixell de vela era una de les invencions més extraordinàries de l'ésser humà i l'exemple màxim de disseny racional i sostenible: "No lluitis contra les forces adverses, utilitza-les", diu un dels seus aforismes: la forma i el material de la vela i la destresa del pilot posen el vent al servei del veler, que no deixa taques de gasolina, ni pertorba els peixos amb el soroll del seu motor, i que aprofita els corrents de l'aire tant com els de l'aigua. Amb aquest plantejament va inventar diversos models constructius, habitacionals i vehicles lleugers, essent la cúpula geodèsica, la seva aportació més coneguda. Quan ja era un home gran, però sorprenent-



Imatge 7.- Quant pesa el seu edifici, Mr. Foster?



Imatge 8.- Tipus de peces d'entrebigat sense funció resistent amb revoltos amb sola.



Imatge 9.- Tipus de blocs d'alleugeriment perdut en lloses bidireccionals

ment actiu, li van presentar l'arquitecte Norman Foster i la pregunta que li va fer només veure'l s'ha fet llegendària, essent aquesta el títol del famós documental que descriu la trajectòria d'aquest insigne arquitecte: "Quant pesa el seu edifici, Mr. Foster?"

■ Com es poden alleugerir els sostres?

Les formes més utilitzades per alleugerir els sostres en edificació són bàsicament tres:

1. Reduir les densitats dels materials que conformen els elements constructius de l'edifici.
2. Aprofitar les característiques tensionals dels materials compostos (formigó pretensat o posttensat)
3. Optimitzar el disseny arquitectònic.

En aquest article ens centrem en la reducció del pes propi dels sostres de l'estructura mitjançant la utilització de peces d'alleugeriment.

■ Com alleugerir el pes propi dels sostres de formigó armat?

Els materials que formen els sostres de formigó armat d'un edifici són:

1. El formigó
2. L'acer
3. Les peces d'alleugeriment (en el cas de ser alleugerits)

Per reduir la densitat dels materials que formen una estructura es pot actuar bàsicament en el formi-

gó i en les peces d'alleugeriment, ja que l'acer està en funció de l'elecció d'aquests materials.

La utilització del formigó lleuger és el factor determinant per alleugerir una estructura. El seu ús amb funció estructural està molt limitat per la legislació vigent i per aquest motiu es poc utilitzat, tot i que existeix una llarga experiència⁷ al respecte. En tot cas, aquest article està dedicat a la reducció del pes propi mitjançant la utilització de les peces d'alleugeriment sense funció resistent i que s'usen com a encofrat perdut de la secció resistent.

Per realitzar aquesta tasca s'utilitzen peces d'entrebigat o blocs d'alleugeriment perdut, realitzats amb materials que no són susceptibles de produir danys al formigó ni a les armadures. El tipus de peces més comunes són els revoltos i els cassetons de formigó, ceràmica o poliestirè expandit (EPS).

■ Pes de les peces d'entrebigat i blocs d'alleugeriment perdut

El pes de les peces d'alleugeriment depèn bàsicament de la densitat dels materials utilitzats.

La peça més pesada és el revoltó de formigó, amb una densitat aproximada de 2.200 kg/m³. El revoltó ceràmic, suposa una alleugeriment respecte el de formigó, la qual té una densitat aproximada de 1.600 kg/m³. El revoltó més lleuger és la peça de poliestirè expandit (EPS), amb una densitat aproximada d'entre 10 i 15 kg/m³ pels revoltos procedent



Imatge 10.- Sostre amb revoltons d'EPS⁶.
Primers sostres realitzats a Espanya
amb EPS (Font arxiu de Jesus Arellano,
enginyer de Porex Hispania S.A. 1969)

del tall de blocs (massisses o mecanitzades) i en l'entorn dels 20 kg/m³ per a les modelades o alveolars.

En la taula adjunta es pot comprovar el pes propi de les peces d'alleugeriment més habituals en la construcció.

L'ús de qualsevol d'aquestes peces d'alleugeriment suposen una reducció del pes propi que tindria una llosa de formigó armat. Per altra banda i en menor quantitat es pot obtenir una reducció complementària, en funció de la densitat de la peça d'alleugeriment utilitzada.

■ Determinació del pes propi dels sostres

El pes propi és la càrrega deguda al pes de l'element resistent. La seva determinació, en el procés de càlcul, s'estima inicialment en la fase de disseny. Es poden utilitzar taules i/o fórmules empíriques o dades d'estructures construïdes de característiques semblants. Per determinar el pes propi dels sostres unidireccionals realitzats amb elements prefabricats o semiprefabricats, s'han de consultar les fitxes tècniques de les autoritzacions d'ús del fabricant del sostre que es vol utilitzar. Aquestes, estableixen mol-

| Cassetó ceràmic | | | |
|-----------------|---------------|-------------|-------------|
| Ample (cm) | Longitud (cm) | Alçada (cm) | Pes (kg/ud) |
| 70 | 25 | 13 | 8.5 |
| 70 | 25 | 16 | 10.4 |
| 70 | 25 | 17 | 10.7 |
| 70 | 25 | 18 | 10.9 |
| 70 | 25 | 20 | 11.4 |
| 70 | 25 | 22 | 11.9 |
| 70 | 25 | 25 | 12.5 |
| 70 | 25 | 30 | 15.0 |

| Cassetons de formigó | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Ample (cm) | Longitud (cm) | Alçada (cm) | Pes (kg/ud) |
| 70 | 23 | 20 | 23.0 |
| 70 | 23 | 22 | 24.0 |
| 70 | 23 | 25 | 26.0 |
| 70 | 23 | 30 | 33.0 |
| 70 | 23 | 35 | 36.0 |

| Cassetons d'EPS | | | |
|-----------------|---------------|-------------|-------------|
| Ample (cm) | Longitud (cm) | Alçada (cm) | Pes (kg/ud) |
| 70 | 23 | 20 | 0.55 |
| 70 | 23 | 22 | 0.60 |
| 70 | 23 | 25 | 0.68 |
| 70 | 23 | 30 | 0.82 |
| 70 | 23 | 35 | 0.96 |

Taula del pes del cassetons més habituals⁵¹⁶

| Revoltó ceràmic | | | | |
|-----------------|--------|--------|-----------|--|
| A | L (cm) | H (cm) | P (kg/ud) | |
| 60 | 25 | 13 | 7.4 | |
| 60 | 25 | 16 | 8.5 | |
| 60 | 25 | 17 | 8.8 | |
| 60 | 25 | 18 | 9.1 | |
| 60 | 25 | 20 | 9.6 | |
| 60 | 25 | 22 | 10.2 | |
| 60 | 25 | 25 | 11.6 | |
| 60 | 25 | 30 | 14.0 | |
| 70 | 25 | 14 | 8.6 | |
| 70 | 25 | 16 | 10.4 | |
| 70 | 25 | 17 | 10.7 | |
| 70 | 25 | 18 | 10.9 | |
| 70 | 25 | 20 | 11.4 | |
| 70 | 25 | 22 | 11.9 | |
| 70 | 25 | 25 | 12.5 | |
| 70 | 25 | 30 | 15.0 | |

| Revoltó de formigó | | | | |
|--------------------|--------|--------|-----------|--|
| A | L (cm) | H (cm) | P (kg/ud) | |
| 60 | 25 | 16 | 15.5 | |
| 60 | 25 | 18 | 18.0 | |
| 60 | 25 | 20 | 20.0 | |
| 60 | 25 | 22 | 22.0 | |
| 60 | 25 | 25 | 24.0 | |
| 60 | 25 | 30 | 29.0 | |
| 70 | 25 | 16 | 19.0 | |
| 70 | 25 | 20 | 22.0 | |
| 70 | 25 | 22 | 24.0 | |
| 70 | 25 | 25 | 26.0 | |
| 70 | 25 | 30 | 31.0 | |

| Revoltó d'EPS | | | | |
|---------------|--------|--------|-----------|--|
| A | L (cm) | H (cm) | P (kg/ud) | |
| 60 | 25 | 20 | 0.33 | |
| 60 | 25 | 22 | 0.33 | |
| 60 | 25 | 25 | 0.36 | |
| 60 | 25 | 30 | 0.40 | |
| 70 | 25 | 20 | 0.38 | |
| 70 | 25 | 22 | 0.39 | |
| 70 | 25 | 25 | 0.41 | |
| 70 | 25 | 30 | 0.45 | |

Taula del pes de les peces d'alleugeriment més habituals per a sostres unidireccionals⁵¹⁶

tes altres dades d'interès com són els materials que formen el sostre i el pes propi d'aquest, que està en funció de l'interès del sostre.

En la resta de casos es pot estimar el pes propi a partir de la taula C5 del Documento Básico DB SE-AE Acciones en la Edificación del Código Técnico de la Edificación, «CTE».

■ Breu història de les peces d'alleugeriment a l'Estat espanyol

Les peces d'entrebigat estan molt lligades a l'evolució de les biguetes i en especial a les biguetes pretesades. L'any 1945 es va prefabricar la primera biga pretesada a Espanya, que es va començar a comercialit-



Edifici Urumea de Sant Sebastià, 1969 és el primer edifici documentat en què es té constància d'utilització de revoltons d'EPS

zar sota el nom de Viguetas Freyss. Des de llavors s'utilitza la bigueta com un element fonamental en la construcció dels sostres. Els primers entrebigats es van realitzar amb soleres ceràmiques, amb voltes de guix i amb una o dues fulles de rajola ceràmica.

Els primers revoltos prefabricats que s'utilitzen són de formigó, no obstant, molt aviat es comencen a fabricar revoltos ceràmics que apareixen també lligats a un altre fenomen del mateix període constructiu; els sostres ceràmics.

Anys més tard s'utilitza el polièstir expandit. El primer edifici documentat en el que es té constància que es van utilitzar revoltos d'EPS, va ser l'edifici Urumea de Sant Sebastia, dissenyat l'any 1969 pels arquitectes Marquet-Unzurrunzaga-Zulaica i en el que va col·laborar l'arquitecte Rafael Moneo, en el disseny de la façana.

■ Comparatiu

Per visualitzar els efectes d'alleugerir els sostres amb l'ús dels diferents peces d'alleugeriment s'ha examinat les dades del dimensionat i càlcul d'un edifici tipus amb sostres unidireccionals i un altre amb lloses planes bidireccionals alleugerides (sostres reticulars). Per al càlcul s'ha utilitzat el programa CYPECAD de CYPE Ingenieros.

| Revoltó de formigó | Revoltó ceràmic | Revoltó de polièstirè |
|--|--|---|
| Sostre de nervis in situ Dimensions del revoltó: 60x25x25 Pes del revoltó: 24,00 Kg Gruix capa compressió: 5 cm Inteix: 74 cm Ample del nervi: 14 cm Pes propi: 0.391 t/m ² | Sostre de nervis in situ Dimensions del revoltó: 60x25x25 Pes del revoltó: 11,60 Kg Gruix capa compressió: 5 cm Inteix: 74 cm Ample del nervi: 14 cm Pes propi: 0.322 t/m ² | Sostre de nervis in situ Dimensions del revoltó: 60x25x25 Pes del revoltó: 0,36 Kg Gruix capa compressió: 5 cm Inteix: 74 cm Ample del nervi: 14 cm Pes propi: 0.271 t/m ² |

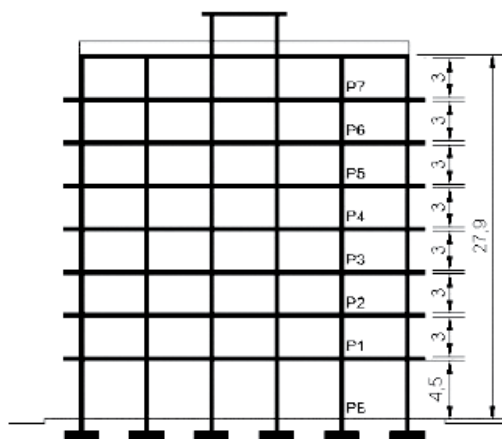
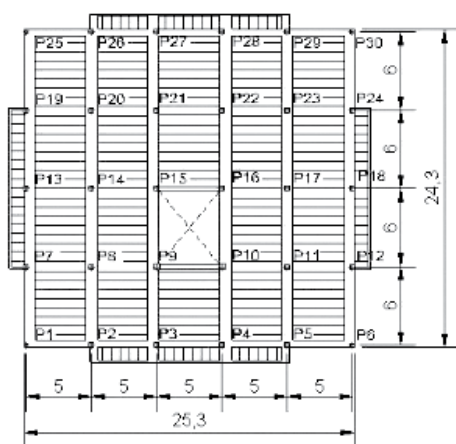
Edifici unidireccional

L'edifici modelat amb sostres unidireccionals és residencial, plurifamiliar, aïllat, format per una planta baixa destinada a locals comercials, set plantes pis i planta coberta. L'edifici no disposa de planta soterrani, ja que per al fi de l'exemple que es vol analitzar no aportaria cap dada rellevant.

Accions

S'ha considerat el pes propi dels elements resistents de formigó armat, tenint en compte la seva secció bruta i els elements d'alleugerants que els formen. S'ha considerat una càrrega 1kN/m² de paviment i fals sostre, i una sobre-càrrega d'ús de 2kN/m² i una sobre-càrrega d'envans d'1kN/m² repar-

| | Revolto de formigó | Revolto ceràmic | Revolto de polièstirè |
|--|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Pes de l'armadura dels sostres | 14.289,00 kg | 14.154,00 Kg | 12.866,00 Kg |
| Pes de l'armadura de les bigues del sostre | 38.104,00 Kg | 36.000,00 Kg | 33.318,00 Kg |
| Pes de l'armadura dels pilars | 23.646,00 Kg | 20.082,00 Kg | 17.424,00 Kg |
| Pes total de l'armadura de l'estructura | 76.039,00 Kg | 70.236,00 Kg | 63.608,00 Kg |
| Superfície de l'edifici | 5201,17 m ² | 5207,17 m ² | 5.207,17 m ² |
| Quantia Kg d'acer/m ² de superfície | 14,62 | 13,49 | 12,22 |



Esquema gràfic de l'edifici

| | Revolto de formigó | Revolto ceràmic | Revolto de poliestirè |
|---|--------------------|--------------------|-----------------------|
| Pes de l'armadura de la fonamentació | 8.310,02 kg | 7.152,12 Kg | 6.340,11 Kg |
| Superfície de la fonamentació | 654,24 Kg | 654,27 Kg | 654,27 Kg |
| Quantia Kg d'acer/m² de superfície | 12,70 | 10,93 | 9,69 |

| | Revolto de formigó | Revolto ceràmic | Revolto de poliestirè |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Núm. de revoltons | 23.298,00 ud | 23.916,00 ud | 24.764 ud |
| Pes unitari dels revoltons | 24,00 Kg | 11,60 Kg | 0,36 Kg |
| Pes dels revoltons de tot l'edifici | 559.152,00 Kg | 277.425,60 Kg | 8.915,04 Kg |

tides uniformement. També s'han aplicat les càrregues degudes als tancament, divisions interiors que no es realitzen com a envans, escales i elements singulars, així com les càrregues del tancament de la façana de l'edifici, el tancament de l'escala, els tancaments separadors entre habitatges i una càrrega lineal en extrem de voladissos de balcons volats de façana.

Del càlcul realitzat de l'estructura, amb les diferents tipus de peces d'entrebigat, s'ha obtingut el mesurament de l'acer per armar l'estructura i el nombre de revoltons:

Pel que fa a l'estructura amb sostres bidireccionals, s'ha calculat un edifici residencial, plurifamiliar, aïllat, compost per una planta baixa destinada a locals comercials, set plantes pis i planta coberta. Al igual que en l'apartat anterior s'ha dissenyat un edifici sense planta soterrani, ja que per la finalitat de l'exemple que es vol analitzar no aportaria cap dada rellevant.

Accions

Per al càlcul d'aquest edifici s'han utilitzat les mateixes accions de l'edifici anterior, excepte el pes propi dels sostres, en el que s'ha considerat el seu pes propi.

Del càlcul realitzat de l'estructura, amb les diferents blocs perduts s'ha obtingut el mesurament de l'acer

| Bloc de formigó | Bloc ceràmic | Bloc de poliestirè |
|--|--|---|
| Sostre reticular Dimensions del cassetó: 70x25x23 Pes del revoltó: 26,00 Kg Gruix capa compressió: 5 cm Retícula: 82 cm x 82 cm Ample del nervi: 12 cm Pes propi: 0.525 t/m² | Sostre reticular Dimensions del cassetó: 70x25x22 Pes del revoltó: 11,90 Kg Gruix capa compressió: 5 cm Retícula: 82 cm x 82 cm Ample del nervi: 12 cm Pes propi: 0.481 t/m² | Sostre reticular Dimensions del cassetó: 70x25x70 Pes del revoltó: 2,04 Kg Gruix capa compressió: 5 cm Retícula: 82 cm x 82 cm Ample del nervi: 12 cm Pes propi: 0.442 t/m² |

| | Bloc de formigó | Bloc ceràmic | Bloc de poliestirè |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| Armadura de la retícula dels sostres | 185.629,00 kg | 174.738,00 Kg | 151.036,00 Kg |
| Armadura de les bigues del sostre | 13.745,00 Kg | 12.802,00 Kg | 12.650,00 Kg |
| Armadura dels pilars | 43.004,00 Kg | 37.835,00 Kg | 34.608,00 Kg |
| Total de Kg de l'armadura de l'estructura | 242.378,00 Kg | 225.375,00 Kg | 198.294,00 Kg |
| Superfície de l'edifici | 8702,72 m² | 8702,72 m² | 8702,72 m² |
| Quantia Kg d'acer/m² de superfície | 27,85 | 25,90 | 22,79 |

| | Bloc de formigó | Bloc ceràmic | Bloc de poliestirè |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Armadura de la fonamentació | 17.780,53 kg | 15.907,83 Kg | 13.932,40 Kg |
| Superfície de la fonamentació | 654,24 Kg | 654,27 Kg | 654,27 Kg |
| Quantia Kg d'acer/m² de superfície | 16,46 | 14,73 | 12,90 |

| | Bloc de formigó | Bloc ceràmic | Bloc de poliestirè* |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|
| Núm. de blocs d'alleugeriment | 28.180,00 ud | 28.215,00 ud | 10.078,00 ud |
| Pes unitari dels blocs d'alleugeriment | 26,00 Kg | 11,90 Kg | 2,04 Kg |
| Pes dels revoltons de tot l'edifici | 732680,00 Kg | 335.758,50 Kg | 20.559,12 Kg |

*El nombre de blocs que s'utilitzen en el cas dels sostre alleugerits amb blocs de poliestirè es correspon a un bloc per retícula, mentre que en el cas dels sostres alleugerits amb blocs de formigó i blocs ceràmics se n'utilitza tres per retícula.

per armar l'estructura i número de blocs d'alleugeriments:

■ Des d'un punt de vista tècnic

- Les dimensions dels pilars i de les sabates aïllades de la fonamentació són majors en els edificis calculats amb revoltons de formigó i ceràmics que en els edificis calculats amb poliestirè expandit.
- La dimensió de les jàsseres planes de l'edifici dissenyat amb sostres unidireccionals són d'una dimensió major en l'edifici amb revoltons de formigó i ceràmics que en l'edifici amb revoltons de poliestirè expandit.
- En l'edifici amb sostre bidireccional amb revoltons de formigó i ceràmics s'ha hagut d'augmentar la dimensió inicial dels àbacs per a corregir els problemes de tallant.
- La deformació dels sostres és major en els edificis calculats amb revoltons de formigó i ceràmics que en els edificis calculats amb poliestirè expandit.

■ Des d'un punt de vista econòmic

La reducció de la massa d'una estructura comporta una reducció del consum dels materials amb un cost econòmic major com és l'acer per armar l'estructura, tot mantenint les condicions funcionals, estètiques i de seguretat necessàries. Econòmicament parlant aquest factor és important com més superfície s'ha de cobrir i com més important són les llums a cobrir, essent molt poc rellevant en les estructures més petites com és el cas dels habitatges unifamiliars. Si agafem com a exemple els càlculs realitzats en aquest article, i aplicant un preu unitari de l'acer de 1,35 €/kg obtenim els pressupostos de la partida de l'acer de cada un dels edificis que es pot veure en el quadres següents.

A més a més de la reducció de l'acer, la utilització de materials

| Edifici amb sostre unidireccional | | | |
|--|----------------------|---------------------|-----------------------|
| | Revolto de formigó | Revolto ceràmic | Revolto de poliestirè |
| Pes total de l'armadura de l'estructura | 76.039,00 Kg | 70.236,00 Kg | 63.608,00 Kg |
| Pes de l'armadura de la fonamentació | 8.310,02 kg | 7.152,12 Kg | 6.340,11 Kg |
| Pes total de l'armadura per armar | 81.349,02 Kg | 77.388,12 Kg | 69.948,11 Kg |
| Pressupost dels Kg d'acer per armar | 109.821,17 € | 104.473,96 € | 94.429,94 € |
| % del pressupost | + 15.391,23 € | +10.044,01 € | |
| Quantia Kg d'acer/m² de superfície | 14,01 % | 9,61 % | |

Càlcul del pressupost i l'estalvi econòmic en l'alleugeriment del sostre unidireccional

| Edifici amb sostre bidireccional | | | |
|--|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Bloc de formigó | Bloc ceràmic | Bloc de poliestirè |
| Pes de l'armadura de l'estructura | 242.378,00 Kg | 225.375,00 Kg | 198.294,00 Kg |
| Pes de l'armadura de la fonamentació | 17.780,53 kg | 15.907,83 Kg | 13.932,40 Kg |
| Pes total de l'armadura per armar | 260.158,53 kg | 241.282,83 Kg | 212.226,40 Kg |
| Pressupost dels Kg d'acer per armar | 351.214,01 € | 325.731,82 € | 286.505,64 € |
| % del pressupost | + 64.708,38 € | + 39.226,18 € | |
| Quantia Kg d'acer/m² de superfície | 18,42 % | 12,04 % | |

menys pesants i lleugers tendeixen a facilitar i millorar els rendiments de la mà d'obra permetent construir una quantitat major de superfície reduint el cost o la inversió de mà d'obra, tal i com es pot veure en la taula⁶ adjunta.

Per altra banda cal tenir present que al reduir les càrregues també, es redueixen les baixes per malaltia. Segons un estudi realitzat l'any 1990 pel National Safety Council dels EEUU, va posar de manifest que la major causa de lesions laborals van ser degudes a sobreesforços (31%), sent l'esquena, la part del cos més exposada a lesions (22% de l'1,7 milions de lesions).

De manera general, el pes màxim que es recomana no sobrepassar en condicions ideals de manipulació, és de 25 kg. Quan es sobrepassen aquests valors de pes, s'han de prendre mesures preventives de manera que el treballador no manipuli càrregues, o que aconseguixi que el pes manipulat sigui menor.

Dins d'aquestes mesures trobem les següents:

- Ús d'ajudes mecàniques.
- Aixecament de les càrregues entre dues persones.
- Reducció dels pesos de les càrregues manipulades en possible combinació amb la reducció de la freqüència, etc.



Taula de rendiment en la col·locació de cassetons i revoltos

| Treball a realitzar | Rendiment | | | | Cost econòmic de la mà d'obra | | | |
|--|------------|-------------------------------|---------|------|-------------------------------|------------|---------|-------|
| | Operari | Tipus de peça d'alleugeriment | | | €/hora | Cost total | | |
| | | Formigó | Ceràmic | EPS | | Formigó | Ceràmic | EPS |
| SOSTRE BIDIRECCIONAL "RETICULAR" | | | | | | | | |
| Replanteig de cassetons amb cordill de marcar, guix o carbo-net en una planta alineada | Oficial 1a | 0,012 | 0,012 | 0,00 | 17,23€ | 0,21€ | 0,21€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,012 | 0,012 | 0,00 | 14,43€ | 0,17€ | 0,17€ | 0,00€ |
| Replanteig de cassetons amb cordill de marcar, guix o carbo-net en una planta no alineada | Oficial 1a | 0,020 | 0,020 | 0,00 | 17,23€ | 0,34€ | 0,34€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,020 | 0,020 | 0,00 | 14,43€ | 0,29€ | 0,29€ | 0,00€ |
| Replanteig de cassetons amb cordill de marcar, guix o carbo-net en una planta totalment | Oficial 1a | 0,032 | 0,032 | 0,00 | 17,23€ | 0,55€ | 0,55€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,032 | 0,032 | 0,00 | 14,43€ | 0,46€ | 0,46€ | 0,00€ |
| Càrrega, elevació, descarrega i col·locació en el seu lloc dels cassetons. Retirada del material trencat o en males condicions | Oficial 1ª | 0,000 | 0,000 | 0,00 | 17,23€ | 0,00€ | 0,00€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,019 | 0,017 | 0,15 | 14,43€ | 2,74€ | 2,45€ | 2,16€ |

Taula de rendiment en la col·locació de revoltos

| Treball a realitzar | Rendiment | | | | Cost econòmic de la mà d'obra | | | |
|--|------------|-------------------------------|---------|------|-------------------------------|------------|---------|-------|
| | Operari | Tipus de peça d'alleugeriment | | | €/hora | Cost total | | |
| | | Formigó | Ceràmic | EPS | | Formigó | Ceràmic | EPS |
| SOSTRE UNIDIRECCIONAL FORMAT AMB SEMIBIGUETES O BIGUETES PREFABRICADES | | | | | | | | |
| Cegat d'una cara dels revoltos de 60 cm d'ample, mitjançant pasta de guix. Apilat dels revoltos en condicions de col·locar-les | Oficial 1a | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 17,23€ | 0,00€ | 0,00€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,010 | 0,010 | 0,00 | 14,43€ | 1,44€ | 1,44€ | 0,00€ |
| Cegat d'una cara dels revoltos de 70 cm d'ample, mitjançant pasta de guix. Apilat dels revoltos en condicions de col·locar-les | Oficial 1a | 0,000 | 0,000 | 0,00 | 17,23€ | 0,00€ | 0,00€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,011 | 0,011 | 0,00 | 14,43€ | 1,59€ | 1,59€ | 0,00€ |
| Cegat d'una cara dels revoltos de 80 cm d'ample, mitjançant parta de guix. Apilat dels revoltos en condicions de col·locar-les | Oficial 1a | 0,000 | 0,000 | 0,00 | 17,23€ | 0,00€ | 0,00€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,012 | 0,012 | 0,00 | 14,43€ | 1,73€ | 1,73€ | 0,00€ |
| Cegat d'una cara dels revoltos de 60 cm d'ample, mitjançant parta de morter. Neteja de la part cegada. Apilat dels revoltos en condicions de col·locar-les | Oficial 1a | 0,000 | 0,000 | 0,00 | 17,23€ | 0,00€ | 0,00€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,09 | 0,09 | 0,00 | 14,43€ | 1,29€ | 1,29€ | 0,00€ |
| Cegat d'una cara dels revoltos de 70 cm d'ample, mitjançant parta de morter. Neteja de la part cegada. Apilat dels revoltos en condicions de col·locar-les | Oficial 1a | 0,000 | 0,000 | 0,00 | 17,23€ | 0,00€ | 0,00€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 14,43€ | 1,43€ | 1,43€ | 0,00€ |
| Cegat d'una cara dels revoltos de 80 cm d'ample, mitjançant pasta de morter. Neteja de la part cegada. Apilat dels revoltos en condicions de col·locar-les | Oficial 1a | 0,000 | 0,000 | 0,00 | 17,23€ | 0,00€ | 0,00€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,19 | 0,17 | 0,15 | 14,43€ | 1,59€ | 1,59€ | 2,16€ |
| Càrrega de revoltos, elevació amb grua, descarrega i col·locació en el seu lloc. Retirada del material trencat o en males condicions | Oficial 1a | 0,000 | 0,000 | 0,00 | 17,23€ | 0,00€ | 0,00€ | 0,00€ |
| | Peó | 0,14 | 0,12 | 0,10 | 14,43€ | 2,02€ | 1,73€ | 1,43€ |

■ Des d'un punt de vista mediambiental

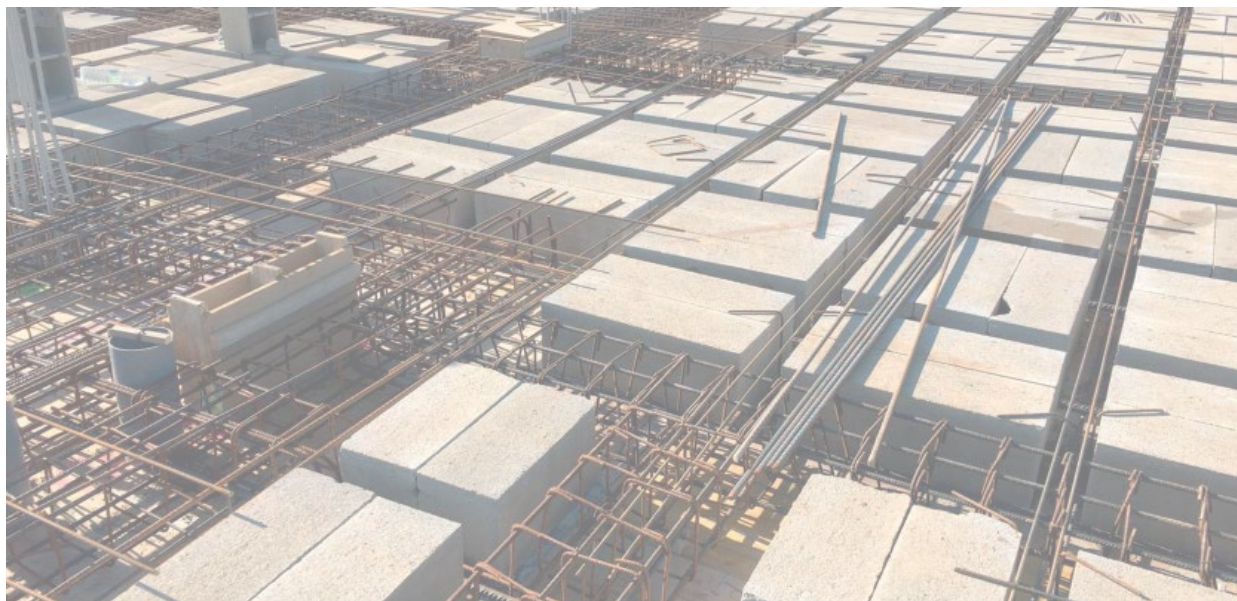
Els impactes ambientals es quantifiquen mitjançant indicadors. Són diversos els impactes que cal analitzar en un estudi ambiental, però degut a la brevetat que comporta l'elaboració d'un article ens hem limitat a analitzar solament dos dels impactes ambientals més significatius: l'energia incorporada o embeguda i la petjada de carboni o emissions de CO₂.

L'energia incorporada és la quantitat d'energia consumida per extreure, processar, transportar i fabricar un producte. Sovint es mesura des del seu origen (bressol), on pot ser un recurs natural o provenir d'un procés de valorització, fins a la porta de la fabrica, fins al lloc d'us o fins al final de la seva vida útil (tomba). De la mateixa manera, la petjada de carboni és la quantitat de carboni emesa per fabricar el producte. Alguns estudis indiquen que es possible reduir, entre el 10% i 20%,

de l'energia i el carboni incorporats en un edifici o projecte d'edificació, sense augmentar el cost de la seva construcció. És per això que són un tema d'importància creixent. Com a exemple d'aquest fet s'aporta la comparació de l'etapa del cicle de vida, entre el sostre unidireccional i bidireccional que s'han utilitzat en el càlcul de comparació realitzat en aquest article. Les taules s'han extret del generador de preus del mateix programa de càlcul de CYPE Ingenieros.

Càlcul del cicle de vida del sostre unidireccional amb nervis *in situ* amb revoltos de formigó.

| Consum | | Etapla del cicle de vida | | | | | |
|-----------------------------------|----------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Consum | | Etapla del cicle de vida | | | | | |
| | | Fabricació | | Construcció | | | |
| | | A1-A2-A3 | | A4 | | A5 | |
| | | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) |
| Materials | Pes (kg) | | | | | | |
| Acer | 12,709 | 444,815 | 35,585 | 4,261 | 0,315 | | |
| Fusta | 0,828 | 2,483 | 0,072 | 0,037 | 0,003 | | |
| Prefabricat de formigó | 115,172 | 118,627 | 11,151 | 5,113 | 0,378 | | |
| Formigó | 347,300 | 361,192 | 33,952 | 6,168 | 0,456 | | |
| Total: | 476,009 | 927,117 | 80,760 | 15,579 | 1,152 | | |
| Envasos | Pes (kg) | | | | | | |
| Plàstic | 0,022 | 1,533 | 0,227 | 0,001 | 0,000 | | |
| Fusta | 0,186 | 0,558 | 0,016 | 0,008 | 0,001 | | |
| Total: | 0,208 | 2,091 | 0,243 | 0,009 | 0,001 | | |
| Mitjans auxiliars | | | | | | 0,171 | 0,025 |
| Residus | Pes (kg) | | | | | | |
| Transport a abocador | 22,441 | | | | | 0,996 | 0,074 |
| Energia total i emissions: | | 929,208 | 81,003 | 15,588 | 1,153 | 1,167 | 0,099 |



Càlcul del cicle de vida del sostre unidireccional amb nervis in situ amb revoltons de poliestirè expandit

| Consum | | Etapla del cicle de vida | | | | | |
|-----------------------------------|----------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| | | Fabricació | | Construcció | | | |
| | | A1-A2-A3 | | A4 | | A5 | |
| | | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) |
| Materials | Pes (kg) | | | | | | |
| Acer | 16,684 | 583,926 | 46,714 | 5,610 | 0,415 | | |
| Fusta | 0,599 | 1,797 | 0,052 | 0,027 | 0,002 | | |
| Prefabricat de formigó | 94,959 | 97,808 | 9,194 | 4,216 | 0,312 | | |
| Formigó | 347,300 | 361,192 | 33,952 | 6,168 | 0,456 | | |
| Total: | 459,542 | 1.044,723 | 89,912 | 16,021 | 1,185 | | |
| Envasos | Pes (kg) | | | | | | |
| Plàstic. | 0,015 | 1,050 | 0,155 | 0,001 | 0,000 | | |
| Fusta. | 0,169 | 0,507 | 0,015 | 0,008 | 0,001 | | |
| Total: | 0,184 | 1,557 | 0,170 | 0,009 | 0,001 | | |
| Mitjans auxiliars | | | | | | 0,110 | 0,016 |
| Residus | Pes (kg) | | | | | | |
| Transport a abocador | 16,601 | | | | | 0,737 | 0,055 |
| Energia total i emissions: | | 1.046,280 | 90,082 | 16,030 | 1,186 | 0,847 | 0,071 |

Càlcul del cicle de vida del sostre bidireccional amb cassetons de formigó

| Consum | | Etapla del cicle de vida | | | | | |
|-----------------------------------|----------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| | | Fabricació | | Construcció | | | |
| | | A1-A2-A3 | | A4 | | A5 | |
| | | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) |
| Materials | Pes (kg) | | | | | | |
| Acer | 16,684 | 583,926 | 46,714 | 5,610 | 0,415 | | |
| Fusta | 0,599 | 1,797 | 0,052 | 0,027 | 0,002 | | |
| Prefabricat de formigó | 94,959 | 97,808 | 9,194 | 4,216 | 0,312 | | |
| Formigó | 347,300 | 361,192 | 33,952 | 6,168 | 0,456 | | |
| Total: | 459,542 | 1.044,723 | 89,912 | 16,021 | 1,185 | | |
| Envasos | Pes (kg) | | | | | | |
| Plàstic. | 0,015 | 1,050 | 0,155 | 0,001 | 0,000 | | |
| Fusta. | 0,169 | 0,507 | 0,015 | 0,008 | 0,001 | | |
| Total: | 0,184 | 1,557 | 0,170 | 0,009 | 0,001 | | |
| Mitjans auxiliars | | | | | | 0,110 | 0,016 |
| Residus | Pes (kg) | | | | | | |
| Transport a abocador | 16,601 | | | | | 0,737 | 0,055 |
| Energia total i emissions: | | 1.046,280 | 90,082 | 16,030 | 1,186 | 0,847 | 0,071 |



Càlcul del cicle de vida del sostre bidireccional amb cassetons d'EPS

| Consum | | Etapla del cicle de vida | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| | | Fabricació | | Construcció | | | |
| | | A1-A2-A3 | | A4 | | A5 | |
| | | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) | Energia incorporada (MJ) | Emissions CO ₂ eq. (kg) |
| Materials | Pes (kg) | | | | | | |
| Acer | 16,684 | 583,926 | 46,714 | 5,610 | 0,415 | | |
| Fusta | 0,599 | 1,797 | 0,052 | 0,027 | 0,002 | | |
| Formigó | 358,800 | 373,152 | 35,076 | 6,372 | 0,472 | | |
| Total: | 376,083 | 958,875 | 81,842 | 12,009 | 0,889 | | |
| Mitjans auxiliars | | | | | | 0,076 | 0,011 |
| Residus | Pes (kg) | | | | | | |
| Transport a abocador. | 5,013 | | | | | 0,223 | 0,016 |
| Energia total i emissions: | | 958,875 | 81,842 | 12,009 | 0,889 | 0,299 | 0,027 |

De la comparació entre els quatre casos es pot observar com els sostres de poliestirè expandit tenen un menor cost d'energia incorporada i una menor emissió de CO₂.

Taula de comparació dels valor d'energia incorporada i emissions de CO₂

| | Energia incorporada | Emissions de CO ₂ |
|---|---------------------|------------------------------|
| Sostre unidireccional amb revoltos de formigó | 945,963 MJ | 82,255 kg |
| Sostre unidireccional amb revoltos d'EPS | 894,499 MJ | 74,132 kg |
| Sostre bidireccional amb revoltos de formigó | 1.036,157 MJ | 91,339 Kg |
| Sostre bidireccional amb revoltos d'EPS | 971,113 MJ | 82,758 Kg |

■ Comentari final

El sector de l'edificació està immers en uns canvis profunds del seu model productiu. Caldrà veure com es van materialitzant i quines tecnologies, productes, solucions constructives i estratègies empresarials es van consolidant.

Pel que fa als productes, sembla

evident que es tendeix cap a un ús més eficient dels recursos així com l'ús de solucions constructives autòctones o tècniques i tecnologies *low tech* que siguin pròpies i perfectament adaptades a cada regió o zona climàtica. No obstant, i mentre tot això arriba, cal ser eficient amb les solucions que tenim al nostre abast i no malmetre els recursos

de forma innecessària. És per això que si actuem amb una visió sostenible cal tenir el punt de vista fixat en l'alleugeriment dels sostres de formigó armat, per anar marcant un camí que entre tots anem a confeccionar i on tot està per escriure. ■

L'autor: Jordi Marrot és arquitecte tècnic, col·legiat 8.208 i responsable de la unitat de Rehabilitació i Medi Ambient del CAATEEB

Referències bibliogràfiques

- [1] Casanovas Boixareu, Xavier... [et al.] Els materials en la sostenibilitat de l'edificació (2003) Direcció General de Qualitat Ambiental. Generalitat de Catalunya.
- [2] Casanovas Boixareu, Xavier... [et al.] (2004) análisis de los materiales empleadas en la edificación en la isla de Lanzarote desde una perspectiva mediambiental. Observatorio de la reserva de Biosfera. Cabildo de Lanzarote
- [3] Cataldi, Giancarlo. (1991) "Els Orígens de l'habitable" CAATEEB
- [4] Aroca Hernández-Ros, Ricardo (1984). "Forjados Armados." COAM
- [5] Brufau i Niubo, Robert (1999) "Quaderns d'estructures 4" de l'Associació de Consultors d'Estructures ACE.
- [6] Marrot i Ticó, Jordi. (2003) "Manual de aligeramiento de estructuras." ANAPE
- [7] Helmut Weiger-Karl (1974) "Hormigones ligeros armados". Editorial Gustavo Gili.